

Gliwice, 15 wrzesień 2025

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Michała Wasika

Rozwój i przykłady zastosowania nierównowagowego modelu wymiany ciepła, powietrza i wilgoci w porowatych materiałach budowlanych

Komentarze o charakterze ogólnym

Wybór tematu doktoratu Pana Michała Wasika jest słuszny, gdyż jego głównym celem było opracowanie nierównowagowego modelu wymiany ciepła i wilgoci w materiałach budowlanych. Jako jego główne zastosowanie wskazano analizę energochłonności procesu osuszania zawilgoconych ścian, najczęściej starych, popowodziowych lub historycznych, to jednak ten model, w którym materiały budowlane traktowane są jako ciała porowate, może być znacznie szerzej stosowany, np. w przemyśle tekstylnym, który jest przedmiotem badań grupy badawczej, w której pracuje Doktorant, ale też w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i kilku innych, gdzie procesy suszenia pod ciśnieniem atmosferycznym lub bliższym próżni wymagają analizy podobnych zjawisk migracji wilgoci w ciałach porowatych.

Tytuł pracy jasno opisuje zawartość pracy, choć samych przykładów zastosowania można by się spodziewać w większym zakresie, zwłaszcza, że w pracy zaprezentowano kilka sformułowań modelu wymiany ciepła i masy w materiałach budowlanych.

Warto również podkreślić, że doktorat został złożony w postaci cyklu artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie JCR, z których trzy są o wysokim IF, poprzedzonych przewodnikiem po tych publikacjach. Z jednej strony to ułatwia pracę recenzenta doktoratu, bo przecież każda z publikacji była już recenzowana przez statystycznie 2-3 recenzentów, a z drugiej strony praca Doktoranta nie była do tej pory oceniana jako całość, co jest przedmiotem niniejszej pracy recenzenckiej. Muszę też przyznać, że jestem wśród zwolenników takiej formy pracy doktorskiej, tj. cyklu czterech lub więcej publikacji w prestiżowych czasopiśmie, gdyż wymagają od doktorantów systematycznej pracy, która w trakcie projektu doktorskiego, jest już przynajmniej częściowo, recenzowana przez osoby spoza własnej grupy badawczej lub organizacji, zamiast ogromnego obciążenia pod sam koniec doktoratu przy pisaniu doktoratu w formie książki.

Układ pracy jest typowy dla doktoratów w postaci cyklu publikacji, które zwyczajowo są wieloautorskie, a tym samym wymagają wyjaśnienia wkładu autorskiego doktoranta i pozostałych współautorów. W tym przypadku jedynie pierwsza publikacja tego wymagała, gdyż pozostałe ukazały się wyłącznie we współpracy z Promotorem.

Recenzowana praca Pana Michała Wasika nie była wolna od usterek i pewnych niedociągnięć, o czym piszę niżej, dlatego bardzo ubolewam, że w polskim systemie oceny doktoratów nie można już poprawić złożonego dokumentu, a tym samym upublicznia się prace doktorskie, które mogłyby być lepsze. Na przykład we włoskim systemie doktorant ma możliwość poprawiania pracy po recenzji i do obrony przystępuje po wprowadzeniu tych poprawek i dopiero wtedy upublicznia się doktorat. Tym samym jest to dokument o wyższej jakości.

Komentarze o charakterze porządkowym

Swoją recenzję zaczęłam właśnie od niedociągnięć o charakterze językowym, edytorskim oraz prezentacyjnym, gdyż one niewątpliwie obniżają całkowity odbiór pracy, ale z drugiej strony zawsze mają miejsce w dłuższych formach. Już w streszczeniu pojawiają się kalki językowe lub niefortunne stylistycznie sformułowania, np. interfejsy użytkownika. Ponadto w samym streszczeniu nie znajdują się żadne merytoryczne informacje, które opisywałyby opracowany model(e), a przecież one są głównym elementem pracy i stanowią jej znaczącą wartość naukową. W tym fragmencie wspomniano jedynie o jej narzędziowej/programistycznej implementacji.

Poniżej zamieszczam przykłady znalezionych błędów, przede wszystkim w przewodniku, ale też w publikacjach.

1. Błędne jednostki: współczynnik wnikania/transportu masy (przewodnik) w $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$ zamiast m/s (kilkukrotnie).
2. Niejednoznaczne określenie symboli, np. *amb* jako otoczenie, ale nie wiadomo, czy chodzi o powietrze, czy otaczające ściany.
3. Nietypowe oznaczenia: (...)w to masowa zawartość wilgoci(...) (a zapewne chodziło o masowy udział wilgoci), *B* oraz *R* w odniesieniu do uniwersalnej stałej gazowej (nawet w tym samym artykule, np. Artykule II)
4. Niefortunne określenia tłumaczenia, np. (...)rozporządzalnego przychodu na modernizację budynków, co było najwyższą wartością w Unii Europejskiej(...) Czym jest ten parametr? Jaki jest związek budżetu państwa na modernizację budynków z kosztami suszenia?
5. Błędy edycyjne, ortograficzne i interpunkcyjne, np. (...)powiązane z nadmierny poziomem(...), (...)w 1905 roku a najnowszy(...), (...)lokalne podtopienia czy powodzie(...), (...)Materiały budowlane mają niejednorodną mikrostrukturę(...), (...)Representative Elementary Volume(...), (...)wymagane jest powiązanie zawartości(...), (...)w sformułowaniu równania energii pojawia się rozróżnienie na wilgoć w postaci ciekłej oraz w postaci pary wodnej(...), (...)modelu równowagowego co sugerują Busser(...), (...)model został z walidowany na(...), (...)analiza otrzymanych wyników pod kontem energochłonności(...), (...)opracowany w pracy nierównowagowy(...), (...)in the two subsequent sections both models of concurrent(...), (...)Średnia temperatura w obszarze suszącym stabilizowała się(...), (...)polish climatic conditions(...), (...)Base on these assumptions(...), (...)The wall drying rate was depended on(...), (...)more heat was transfer from(...), (...)it was also notice that(...), (...)did not showed(...), (...)klimatycznej Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.), która(...)
6. Nieprawidłowe osadzenie rysunku, np. Rysunek 1
7. Od strony edycyjnej usterki dotyczyły, np. braku linków pozycji literaturowych, mimo że w spisie większość pozycji zawierała pełny adres DOI.
8. (...)mvl oznacza objętościowy strumień sorpcji-desorpcji ($\text{kg}/(\text{m}^3\text{s})$)(...) Czy chodziło o źródło masy przypadające na jednostkową objętość? Przez ϵ oznaczono objętościowy udział wilgoci ciekłej, co jest w konflikcie z emisyjnością w warunku brzegowym radiacyjnego strumienia ciepła.

Komentarze o charakterze merytorycznym

Przegląd literatury w przewodniku (**rozdział 1.2.1**) dotyczący problemu suszenia jest bardzo skromny, bo zawiera jedynie kilkanaście pozycji, a wliczając wprowadzenie do zagadnienia wilgoci w budynkach niecałe trzydzieści pozycji. To bardzo mało. Ponadto w tym przeglądzie brakuje jakiegokolwiek podsumowania, wskazówek, motywacji, czy ogólnych wniosków, np. opisujących, która metoda jest potencjalnie najbardziej efektywna i w kontekście, której będzie budowany model matematyczny. W zasadzie to odbiorca nie wie, dlaczego Doktorant wybrał daną metodę suszenia.

W **rozdziale 1.2.2**, który jest poświęcony modelom transportu wilgoci i ciepła, treści podawane są w sposób niespójny, różnice między modelami nie są komentowane, a oznaczenia wręcz mylące, np. równania 1-2 to równania energii i wilgoci w jednym podejściu, a równania 3-4 to równania wilgoci i energii w drugim podejściu. Ponadto w równaniu 1 temperaturę oznaczono przez τ , co jest dość nietypowe, ale już w równaniu 4 temperatura jest oznaczona przez T , podobnie nietypowo oznaczono objętościowe źródła ciepła jako $\dot{u}$, zamiast np. $\dot{q}$. Opis modeli nie jest pełny, bo np. sposób wyznaczania stałych kinetyki sorpcji nie jest podany. Pod koniec tego rozdziału pojawia się wyczekiwana tabela z zestawieniem różnych podejść do modelowania, a także wskazane zostają modele najbardziej zaawansowane, co sugeruje motywację do rozwoju modelu przygotowanego Doktoranta.

W rozdziale 1.3 zdefiniowano oryginalność najbardziej zaawansowanego modelu jako modelu nierównowagowego (między wilgocią ciekłą a parą wodną) oraz uwzględniającego transport powietrza wewnątrz przegrody budowlanej. Ponadto zapowiedziano walidację modelu na własnym stanowisku. Przedstawiono również, że tego typu modele nie były stosowane do optymalizacji procesu osuszania ścian, czego nie zaprezentowano w tej pracy, a zamiast tego analizę wielowariantową parametrów powietrza wykorzystanego do osuszania oraz, że tego typu zaawansowane modele nie były wykorzystywane do analizy energochłonności procesu.

W rozdziale 2 zdefiniowano cel pracy dokładnie tak samo jak wcześniej definiując oryginalność modelu. Ponadto dodano ważne informacje, że doktorat był realizowany w ramach dwóch projektów badawczych (POIR/NCBR oraz Preludium/NCN).

Rozdziały 3-6 z przewodnika będą omawiane łącznie z odpowiadającym im artykułom, które stanowią załączniki tej pracy.

Rozdział 3 zawiera kilkustronicowe podsumowanie najważniejszych elementów Artykułu I pt. *Analysis of non-equilibrium and equilibrium models of heat and moisture transfer in a wet porous building material* opublikowanego w czasopiśmie *Energies*. Model zawierał trzy podstawowe typy równań: energii, wody ciekłej i pary wodnej, co wymagało rozszerzenia standardowych możliwości oprogramowania Ansys Fluent o własne równania transportu w formie UDS, a także UDF zapewne do definiowania członów tego dodatkowego równania i opcji UDM do przechowywania/transportu danych między równaniami. Niestety implementacja tego modelu za pomocą wspomnianych funkcji nie została przedstawiona ani w przewodniku, ani w Artykule I. Szkoda, bo nie da się tego ani ocenić, ani w pełni docenić, choć oczywiście zdaję sobie sprawę, jakiego rodzaju umiejętności musiał posiadać Doktorant, aby solver działał stabilnie w setkach sesji obliczeniowych, które pozwoliły na zakończenie ego projektu doktorskiego.

Oprócz równań sformułowanych i zaimplementowanych w oprogramowaniu komercyjnym kluczową sprawą są dane służące do ich rozwiązania. W Artykule I określono właściwości materiałowe i strukturę materiału budowlanego oraz płynów w nim się znajdujących, a warunki brzegowe i początkowe dla konkretnego przykładu ściany pobrano z literatury (praca doktorska van Belleghema, to nazwisko będzie jeszcze przywoływane). Założono również na podstawie polskiego źródła literaturowego, a więc o ograniczonym zasięgu (klasyczny podręcznik z 2007), że wilgoć jest w postaci ciągłej dla dużego nasycenia wodą na poziomie 25%, a poniżej tego poziomu w formie rozproszonej. Tutaj pojawiła się moje pierwsze pytanie: czy to założenie obecnie również się stosuje w literaturze światowej i z czego wynika?

Domeną obliczeniową był dwuwymiarowy fragment nawilżonej ściany (dlaczego nie wykorzystano symetrii?), której trzy z czterech krawędzi były zaizolowane pod kątem transportu ciepła i masy, a na górnej ścianie modelowano proces odprowadzania ciepła i wilgoci do otoczenia. Właśnie ten warunek brzegowy budzi pewne wątpliwości, gdyż niezrozumiałe jest założenie o stałym konwekcyjnym współczynniku przejmowania ciepła i masy, a także strumieniu radiacyjnym, w którym otoczenie jest traktowane jako równoległa płyta do powierzchni cegły i wreszcie wartość temperatury radiacyjnej otoczenia.

W sekcji wyników w przewodniku zapowiedziano porównanie dwóch modeli opracowanych przez Doktoranta z wynikami van Belleghema. Problem polega na tym, że w przewodniku przedstawiono wyłącznie jeden model. W sekcji wyników porównano wskazano na dwa najważniejsze aspekty tego artykułu: (1) niewielki wpływ warunku brzegowego radiacyjnego, tego samego, co do którego miałem wątpliwości oraz (2) znikomą różnicę w całkowitej zawartości wilgoci dla modelu równowagowego i nierównowagowego. We wnioskach nie stwierdzono, na jakie podstawie uznano, że model nierównowagowy został prawidłowo zaimplementowany. Ponadto powstaje pytanie, po co zajmować się modelem nierównowagowym, skoro prostszy model zwraca te same wyniki, czy chodzi o jakieś szczególne warunki pracy, szczególnie zastosowanie?

W związku z tym, że Załącznik I zawiera pełny tekst artykułu omówionego w doktoracie w rozdziale 3, pozwalam sobie tutaj go zrecenzować w kilku zdaniach. Przegląd literatury jest bardzo skromny, gdyż zawiera jedynie 16 odniesień, a pozycje nr 11-12 i 14-16 są własne. W dalszej części pojawiają się kolejne 4 odniesienia, z czego 2 są własne. To oznacza, że motywacja do podjęcia tematu nie została zbyt dobrze uzasadniona. W przedostatnim akapicie tego rozdziału 1 w Artykule I, tym który powinien opisać zawartość merytoryczną artykułu, pojawia się informacja o wykorzystanych narzędziach programistycznych i/lub obliczeniowych (UDF, UDM, UDS), które nie są później wyjaśnione w tekście albo o planach wykorzystania tych modeli, np. do optymalizacji procesu suszenia, a ona nie jest w ogóle przedmiotem doktoratu.

W zasadniczej części pracy oba modele są jasno przedstawione, a różnica w tych sformułowaniach wynika z opisu mechanizmu odparowania i kondensacji. Niedociągnięcia dotyczą warstwy prezentacyjnej, np. czwarty człon w równaniu 6 nie jest objaśniony albo niewyjaśnione pochodzenie lub sposób wyznaczania korelacji właściwości materiałowych.

Nie jest też wyjaśnione, skąd pochodzą wartości współczynnika przejmowania ciepła i transportu masy (przy tym drugim jest błędna jednostka) i dlaczego są przyjęte jako stałe, co jest o tyle zaskakujące, że Doktorant biegle poruszał się w funkcjach użytkownika (UDF). Błędna jednostka pojawia się również przy współczynniku transportu masy wewnątrz porów na stronie 10 Artykułu I.

W artykule i przewodniku wpisano również, że siatka numeryczna zawierała jedynie 60(!), a krok czasowy 0,5 s. O ile analiza wrażliwości została zaprezentowana ze względu na siatkę, to na krok czasowy już nie. Poza tym ten fragment tekstu nie jest wynikiem modelowania, a co najwyżej jego weryfikacją, a zatem powinien być elementem osobnego rozdziału.

Pozostała część dyskusji wyników zawiera jedynie ¼ strony to opisu trzech wykresów, o czym pisałem wyżej.

Traktuję zatem ten rozdział (i Artykuł I) jako zapoznawczy z tematem złożonego transportu ciepła i masy w produktach budowlanych, w którym pojawiło się wartościowe sformułowanie modelu matematycznego, a jego wykorzystanie i walidacja pojawiają się w kolejnych elementach pracy.

Rozdział 4 zawiera kilkustronicowe podsumowanie najważniejszych elementów Artykułu II pt. *Analysis of seasonal energy consumption during drying of highly saturated moist masonry walls in Polish climatic conditions* opublikowanego w czasopiśmie Energy, a zatem o bardzo wysokim IF. Artykuł jest poświęcony analizie zużycia energii podczas suszenia mocno zawilżonych ścian w różnych porach roku za pomocą modelu nierównowagowego przedstawionego w poprzednim artykule. W obranej metodzie proces suszenia ścian odbywa się za pomocą powietrza poprzez sondy wprowadzane do nawierconych otworów. W związku z tym wymiana ciepła i masy odbywa się częściowo przez uderzenie strugi powietrza na końcu otworu, a przede wszystkim na odcinku pierścieniowego przepływu powietrza wzdłuż sondy. W proponowanym modelu domena obliczeniowa została uproszczona do dwuwymiarowego, powtarzalnego elementu suszonej ściany, w której odbiór ciepła i wilgoci odbywa się wyłącznie przez połowę krawędzi otworu.

W tym sformułowaniu w warunkach brzegowych w transporcie ciepła zrezygnowano z radiacyjnej wymiany ciepła i pozostawiono jedynie warunek konwekcyjny oraz odparowanie, a od strony transportu zastosowano dwa warunki opisujące transport parowy i kapilarny, a dodatkowo zastosowano funkcję, która łączyła przejście z jednego mechanizmu w drugi. Niestety ani w przewodniku, ani w Artykule II nie uzasadniono, z czego wynika moment tego przejścia, ani nie wyjaśniono pochodzenia wspomnianej funkcji.

Zakres analizy obejmował analizę procesu suszenia w różnych porach roku, które były symulowane poprzez kombinację temperatury i wilgotności względnej powietrza wykorzystanego do suszenia. Była to analiza wielowariantowa, choć zapowiadana również jako optymalizacja procesu.

Artykuł II rozpoczyna się od ciekawego wprowadzenia, które może stanowić dobrą motywację do podjęcia się tego tematu badawczego. Niestety dalsza część przeglądu literatury, podobnie jak poprzednio, jest dość skromna i zawiera ledwie 25 pozycji, z czego sporo własnych (łącznie 10 na 28 pozycji).

Dlaczego równanie 3 w Artykule II ma inną postać niż teoretycznie to samo równanie energii (np. równanie 12) w Artykule I, przecież to były te same modele? Jak był definiowany współczynnik transportu masy między wodą ciekłą a parą w porach materiału budowlanego?

Kolejne pytania i wątpliwości są następujące: W oparciu o jakie modele równowagowe weryfikowany był ten model? Własny i Belleghama (strona 4)? Jeśli tak, to dlaczego jest powołanie wyłącznie na własny tekst? W tym samym akapicie mowa jest również o wstępnej walidacji na podstawie własnego eksperymentu (pozycja literaturowa [16]). Dlaczego ten eksperyment nie został opisany w tym artykule, dlaczego nie jest częścią doktoratu?

W dalszych akapitach jest nawet mowa o tym, że parametry w tzw. funkcji przejścia pozwalającej na przeliczanie mechanizmu wymiany masy była kalibrowana o pomiary, o których w tym doktoracie nie wspomina się. Jak był mierzony strumień powietrza do suszenia (strona) i jaka jest niepewność tej zmierzonej wartości? W jaki sposób określono porowatość na poziomie 32%? W jaki sposób określono temperaturę powietrza letniego z dokładnością do dwóch miejsc znaczących w tabeli 1? Dlaczego współczynnik transportu masy w Artykule I i Artykule II tak znacząco się różniły, dlaczego w tabeli 2 nie podano źródeł pochodzenia danych?

Być może źle interpretuję wyniki i wnioski, ale wydaje mi się, że różnica w przebiegach zawartości wilgoci, szybkości suszenia i dostarczonej energii jest niewielka w zależności od pory roku, co też jest konkretną informacją do praktycznego wykorzystania, natomiast zależność od temperatury wykorzystanego powietrza jest raczej oczywista, choć również daje obraz, czy warto podwyższać temperaturę procesu. Dlaczego nie przeprowadzono analizy z różnymi temperaturami powietrza w różnych okresach procesu suszenia, na co wydają się wskazywać wnioski?

Rozdział 5 zawiera kilkustronicowe podsumowanie najważniejszych elementów Artykułu III pt. *Numerical analysis on the energy efficiency improvement of thermo-injection method of masonry walls drying by applying the variable temperature profiles of drying air* opublikowanego ponownie w czasopiśmie Energy, a zatem o bardzo wysokim IF. Artykuł jest rozwinięciem poprzednich dwóch artykułów, gdyż wykorzystano w nim model z Artykułu I oraz wnioski do budowania scenariuszy suszenia z Artykułu II. W związku z tym Artykuł III jest poświęcony analizie redukcji zużycia energii podczas suszenia mocno zawilżonych ścian za pomocą strumienia powietrza o stałej temperaturze jako rozwiązania referencyjnego oraz trzech innych strategii nazwanych: (1) dwusegmentową (dwa poziomy temperatury, najpierw niższa 20°C, później wyższa 60°C), (2) wielosegmentową (stopniowe podwyższanie temperatury od 20°C do 60°C) oraz (3) przemianą (naprzemienne stosowanie temperatury 20°C i 60°C) w różnych porach roku. Testy numeryczne przeprowadzono dla trzech przedziałów czasowych: 12 h, 24 h i 48 h.

W Artykule III podobnie jak poprzednio przegląd literatury był bardzo skromny. Powołano się w nim jedynie na 14 pozycji, z czego 4 były własne. W opisie strategii nie przedstawiono podstaw teoretycznych albo powołań literaturowych do stosowania analizowanych strategii. Ponadto nie przedstawiono wyników optymalizacji tego procesu, ani wniosków, jak taką optymalizację przeprowadzić.

Model matematyczny w tym i poprzednim artykule był ten sam, więc poprzednie uwagi pozostają w mocy i nie będą tutaj powtarzane. Jedynie wyjaśnienia wymaga siatka numeryczna. Jak zmieniła się domena obliczeniowa lub inne parametry modelu, że siatka została ponad 15-krotnie zagęszczona do 156 tys. elementów w stosunku do modelu w Artykule II, w którym była mowa o siatce zawierającej niecałe 10 tys. elementów?

Zgodnie z oczekiwaniami wyniki wskazują, że najszybszą metodą suszenia jest metoda referencyjna, choć wyniki w pewnym stopniu były zależne również od pory roku (poziom wilgotności względnej powietrza), natomiast udało się o kilka procent (prawie 6%) zmniejszyć zużycie energii dla metody skokowej i schodkowej przy nieco wyższym końcowym poziomie wilgoci. Tutaj od razu pojawia się pytanie, czy wszelkie porównania nie powinno się odbywać do momentu uzyskania tej samej średniej wilgoci ściany (lub tej samej masy usuniętej wilgoci), a nie po upływie tego samego czasu procesu suszenia (Tabela 4 w przewodniku, Tabela 3 w Artykule III). Czy gdyby proces prowadzono aż do uzyskania tej samej wartości wilgoci, a tym samym różnego czasu procesu suszenia, to efekty energetyczne byłyby różne niż przedstawione w Artykule III?

W przewodniku podano również, że firma SILTEN zaobserwowała obniżenie zużycia energii, ale nie podano żadnych wartości liczbowych. Czy dzisiaj po kilku miesiącach od momentu złożenia pracy są jakieś nowe informacje w tym względzie?

Rozdział 6 zawiera kilkustronicowe podsumowanie najważniejszych elementów Artykułu IV pt. *Credibility assessment of a new heat, air, and moisture transfer model with hygric non-equilibrium for drying of porous building materials* opublikowanego w czasopiśmie International Communications in Heat and Mass Transfer, a zatem o wysokim IF.

W Artykule IV przegląd literatury był lepszy niż w poprzednich publikacjach, bo powołano się w nim na 25 pozycji, z czego 7 były własnych.

Celem tej publikacji był dalszy rozwój modelu matematycznego poprzez rozwinięcie go o transport powietrza w strukturze porowatej oraz poprawa modułu do opisu transportu kapilarnego, a także walidacja najnowszej wersji modelu w oparciu o wyniki własnego eksperymentu wzorowanym na literaturze (wg van Belleghema).

Przedmiotem eksperymentu był jednostkowy proces suszenia, który został zaplanowany ze sporą dbałością. Mierzono w nim temperatury próbki betonu komórkowego i ubytek masy wody w czasie procesu, a parametry powietrza wykorzystanego były kontrolowane poprzez wykorzystanie komory klimatycznej, w której umieszczono stanowisko pomiarowe.

Pewne wątpliwości budzi jakość pomiaru temperatury, do której wykorzystano czujniki PT-100. Skąd bowiem wiadomo, jaka była jakość styku czujnika z powierzchnią materiału budowlanego. Ponadto Doktorant stwierdził, że każdy z eksperymentów powtarzał minimum trzykrotnie, ale jednocześnie do porównania wykorzystał tylko jeden z pomiarów, a nie np. wartości średnie. Dlaczego?

W części eksperymentalnej Doktorant zmierzył lub wyznaczył gęstość, porowatość oraz krzywą sorpcji materiału, a także przeprowadził eksperyment podciągania kapilarnego w celu wyznaczenia współczynnika absorpcji i maksymalną zawartość wilgoci w próbkach. Pozostałe charakterystyczne parametry jak paroprzepuszczalność, współczynnik przewodzenia ciepła oraz krzywą retencji wyznaczono na podstawie danych literaturowych.

W modelu opisującym eksperyment zastosowano nieprawidłowy warunek brzegowy na ścianie zaizolowanej (równanie 56 w przewodniku), gdzie temperatura otoczenia t_{amb} powinna być zamieniona na temperaturę zewnętrzną ściany, podobnie jak na ścianie suszonej (równanie 60 w przewodniku), gdzie uznano, że temperatura otoczenia dla konwekcji i promieniowania jest ta sama, a promieniowanie odbywa się w układzie dwóch równoległych ścian o niekończonej powierzchni.

Ponadto w części modelowej Artykułu IV opisano analizę wrażliwości ze względu na charakterystyczne parametry jak gęstość materiału, porowatość, współczynnik absorpcji wody, maksymalna zawartości wody na skutek podciągania kapilarnego oraz objętościowy współczynnik wymiany masy wewnątrz porów.

Domena obliczeniowa jest bardzo podobna do tej z Artykułu I, ale w tym przypadku siatka numeryczna była kilkakrotnie gęstsza (7,2 tys. elementów) niż poprzednio (60 elementów). Jaki był rozmiar charakterystyczny elementu, np. długość krawędzi dla obu siatek i dlaczego?

Ponadto opracowany model porównano nie tylko z własnym eksperymentem, a również tym od van Belleghema. W tym celu zbudowano model 3-D o rozmiarze siatki równym 200 tys. elementów i uzyskano bardzo przyzwoitą zgodność przebiegu temperatury w procesie suszenia.

Warto jeszcze zadać pytanie, czy udało się jakkolwiek zwalidować te elementy modelu (dodane równanie masy dla powietrza), które dodano w tym artykule? Wydaje się, że nie.

Rozdział 7 zamyka merytoryczną część pracy podsumowaniem i wnioskami, które zostały zapisane jako podsumowanie poszczególnych etapów/artykułów pracy. Ostatnim elementem przewodnika jest bibliografia, po której pojawia się lista załączników i same załączniki.

I ostatnia uwaga do dyskusji. Domyślam się, że przebieg tego doktoratu miał ścisły związek z harmonogramem projektów, w ramach których był realizowany, co nie zawsze pozwala reagować na cząstkowe wyniki badań. Odnoszę się tutaj do kompozycji pracy i kolejności artykułów, a tym samym wykonywanych prac, bo wydaje się, że chronologicznie Artykuł IV powinien być Artykułem II, a dopiero później po dopracowaniu modelu i jego walidacji warto było analizować wykorzystanie tego modelu do praktycznych celów jak strategię suszenia.

Podsumowanie i wniosek końcowy

W recenzji przedstawiłem kilka krytycznych uwag dotyczących formy przewodnika, a także parę uwag merytorycznych do poszczególnych części doktoratu zapisanych w artykułach. Warto jednak podsumować, że praca Pana Wasika dotyczyła bardzo złożonych procesów wymiany ciepła i masy w ośrodku porowatym. Było to udane podejście z kilku perspektyw do tego procesu, bo zarówno od strony obliczeniowej jak i eksperymentalnej, co wymagało sporej wiedzy teoretycznej, programistycznej, eksperymentalnej, a także dużego zaangażowania Doktoranta. Zatem moim zdaniem Doktorant spełnia ustawowe wymagania odnośnie nadania stopnia doktora nauk technicznych i w pełni na nie zasługuje, dlatego też wnioskuję o dopuszczenie Pana Michała Wasika do publicznej obrony. Chciałbym też życzyć Doktorantowi dalszych owocnych działań naukowych oraz publikowania kolejnych artykułów naukowych w najlepszych czasopiśmie JCR.

